

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

**С. П. ЖОГАЛЬ, Д. В. РАТОБЫЛЬСКАЯ,
Т. Я. КАМОРНИКОВА**

МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ЭКСПЕРТНОГО ВЫБОРА

Практическое пособие

по дисциплине специализации
для студентов специальности 1-31 03 01-02
«Математика (научно-педагогическая деятельность)»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2016

УДК 519.816 : 519.243 (075.8)
ББК 22.18я73
Ж783

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук Т. В. Тихоненко,
кандидат физико-математических наук М. И. Жадан

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Жогаль, С. П.

Ж783 Методы принятия решений и экспертного выбора :
практическое пособие / С. П. Жогаль, Д. В. Ратобылская,
Т. Я. Каморникова ; М-во образования Республики
Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель :
ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 46 с.
ISBN 978-985-577-214-0

Пособие содержит обзор информационных ресурсов, реализующих
методы принятия решений и экспертного выбора в условиях неопределен-
ности и риска, анализ широко применяемых в информационных техноло-
гиях методов решения задач управления.

Практическое пособие «Методы принятия решений и экспертного
выбора» адресовано студентам специальности 1-31 03 01-02 «Математика
(научно-педагогическая деятельность)», но может быть использовано и
студентами других математических специальностей и специализаций.

УДК 519.816 : 519.243 (075.8)
ББК 22.18я73

ISBN 978-985-577-214-0

© Жогаль С. П., Ратобылская Д. В.,
Каморникова Т. Я., 2016

© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2016

Оглавление

Предисловие.....	4
1 Основные понятия теории принятия решений в условиях неопределенности и риска.....	5
1.1 Матрица решений.....	5
1.2 Оценочная функция.....	7
2 Неформализуемые задачи теории принятия решений	11
2.1 Метод анализа иерархий.....	11
2.2 Методы ЭЛЕКТРА, Подиновского и порядковой оптимизации в задачах экспертного выбора.....	14
2.3 Ранжирование альтернатив и групповой экспертный выбор	21
3 Системы поддержки принятия решений.....	30
3.1 Понятие, классификация систем.....	30
3.2 Методы поддержки принятия решений на основе информационных технологий.....	33
3.2.1 Метод аналитических сетей	34
3.2.2 Веб-системы поддержки принятия решений	36
3.3 Применение систем поддержки принятия решений	38
3.3.1 Решение задачи с помощью метода аналитических сетей в SuperDesicions.....	39
3.3.2 Решение задачи с помощью приложения «Экспертная система поддержки принятия решений»	44
Литература.....	48

Предисловие

Вопросы принятия наилучших (эффективных) решений стали в настоящее время весьма актуальными, особенно в экономике, технике, политике, военном деле и других областях человеческой деятельности. Практическая задача принятия решений предполагает, как правило, достижение некоторой цели, причем качество решения, его полезность не могут быть оценены единственной функцией. Механизм рационального выбора в таких ситуациях требует привлечения математического аппарата для сравнения альтернатив. Таково положение дел при выборе оптимальных решений в условиях неопределенности, в многокритериальных ситуациях, в теории группового (кооперативного) выбора, когда решение должно учитывать интересы различных лиц.

Целью подготовки практического пособия по дисциплине специализации является оказание помощи студентам в овладении основными современными разделами теоретической и прикладной математической теории принятия решений. Представление общего обзора информационных ресурсов, реализующих методы принятия решений и экспертного выбора в условиях неопределенности и риска, анализ существующих и широко используемых информационных технологий в решении задач управления. Этой цели подчинена и структура курса: в начале каждой темы кратко излагается теоретический материал, знание которого необходимо для решения прикладных задач данной темы. Затем рассматриваются методы решения задач конкретного вида и разбираются примеры их применения. Такая форма подачи материала наиболее удобна для его активного усвоения студентами.

Практическое пособие «Методы принятия решений и экспертного выбора» адресовано студентам специальности 1-31 03 01 02 «Математика (научно-педагогическая деятельность)», но может быть использовано и студентами других математических специальностей и специализаций.

1 Основные понятия теории принятия решений в условиях неопределенности и риска

1.1 Матрица решений

Управление системой, проектирование устройств, планирование деятельности и вообще принятие решений предполагает, как правило, достижение некоторой цели или, по крайней мере, последовательное приближение к некоторому наиболее предпочтительному состоянию или поведению.

Только в простейших случаях удастся указать шкалу – целевую функцию, значения которой измеряют качество решения. В более сложных ситуациях качество решения не может быть оценено единственной функцией. Механизм рационального выбора в таких случаях требует некоторой дополнительной косвенной информации, позволяющей, по крайней мере, сравнивать альтернативы. Таково, в частности, положение дел при выборе решений в условиях неопределенности и риска, в задачах со многими критериями.

Необходимость принимать решения, для которых не удастся полностью учесть предопределяющие их условия, а также последующее их влияние (так называемый эффект неопределенности) встречается во всех областях техники, экономики и социальных наук.

Планирование всегда более или менее связано с подобными факторами неопределенности. Тем не менее именно в подобных ситуациях ответственность за принимаемые решения очень велика. Поэтому необходимо стремиться к оптимальному использованию имеющейся информации относительно поставленной задачи, чтобы, взвесив все возможные варианты решения, постараться найти среди них наилучший.

Такая тенденция неизбежно требует строгой математической формализации процесса принятия решений, поскольку очевидно, что адекватная формализация может оказать существенную помощь при решении практических задач.

Принятие решений представляет собой выбор одного из некоторого множества вариантов: $E_i \in E$. Условимся, что каждый вариант E_i вырабатывает некоторую количественную оценку e_i . Будем искать вариант решения с наибольшим значением e_i , полагая, что e_i характеризует такие величины как полезность, надежность, выигрыш, прибыль. Таким образом, выбор оптимального варианта производится с помощью критерия:

$$E_o = \{E_{io} \mid E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max_i e_i\} \quad (1.1)$$

Рассмотренный случай, когда каждому варианту решения соответствует единственное внешнее состояние (случай детерминированных решений), с точки зрения его применения является простейшим. При решении большинства практических задач каждому допустимому варианту решения E_i могут соответствовать, вследствие различных внешних условий, различные внешние состояния F_j и количественные оценки решений e_{ij} . Рассмотрим пример, иллюстрирующий подобную ситуацию.

Пусть требуется изготовить изделие, долговечность которого зависит от вида материала, из которого оно состоит, и внешних условий, связанных с той или иной степенью нагрузки при эксплуатации изделия. Нагрузки считаются известными. Требуется определить вид материала, из которого целесообразно изготовить изделие.

Варианты решений в данном примере таковы:

E_1 – выбор вида материала из соображений максимальной долговечности;

E_m – выбор вида материала из соображений минимальной долговечности;

E_i – промежуточные решения $i = (2, 3, \dots, m - 1)$;

F_1 – условия, обеспечивающие максимальную долговечность;

F_n – условия, обеспечивающие минимальную долговечность;

F_j – промежуточные условия $j = (2, 3, \dots, n - 1)$.

Под результатом решения e_{ij} будем понимать оценку, соответствующую варианту решения E_i и условиям F_j и характеризующую экономический эффект (прибыль), полезность или надежность изделия.

Ситуация, соответствующая описанному примеру, характеризуется следующей матрицей решений $\|e_{ij}\|$ (таблица 1.1):

Таблица 1.1 – Матрица решений

	F_1	F_2	...	F_n
E_1	e_{11}	e_{12}	...	e_{1n}
E_2	e_{21}	e_{22}	...	e_{2n}
...
E_m	e_{m1}	e_{m2}	...	e_{mn}

По данной матрице необходимо выбрать тот вариант решения, которому соответствует наилучший результат, но так как неизвестно, какое из внешних условий может наступить, необходимо принимать во внимание

все оценки e_{ij} . Таким образом, первоначальная задача максимизации согласно критерию (1.1) должна быть теперь заменена другой.

1.2 Оценочная функция

Процедура выбора в случае нескольких внешних состояний может быть представлена по аналогии с применением критерия (1.1). При этом матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется некоторым столбцом, то есть каждому варианту E_i приписывается некоторый результат e_{ir} . Проблема в том, какой смысл вложить в результат e_{ir} . Оценочные функции можно вводить различным образом. Если, например, последствия каждого из альтернативных решений характеризовать комбинацией из его наибольшего и наименьшего результатов, то можно принять:

$$e_{ir} = \min_j e_{ij} + \max_j e_{ij}. \quad (1.2)$$

Наилучший в этом смысле результат имеет вид

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left\{ \min_j e_{ij} + \max_j e_{ij} \right\}. \quad (1.3)$$

Определяя таким образом желаемый результат, *лицо принимающее решение* (ЛПР) исходит из компромисса между оптимистическим и пессимистическим подходами.

Целесообразность применения той или иной оценочной функции определяется комплексом условий. Приведем некоторые другие примеры оценочных функций.

Оптимистическая позиция:

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left\{ \max_j e_{ij} \right\}, \quad (1.4)$$

следуя которой ЛПР становится на точку зрения азартного игрока, делая ставку на то, что при любом его решении внешняя среда будет находиться в максимально благоприятном состоянии.

Позиция нейтралитета:

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_{ij} \right\}, \quad (1.5)$$

тогда ЛПР исходит из того, что все встречающиеся отклонения результата решения от «среднего» случая допустимы, и выбирает решение, оптимальное с этой точки зрения.

Позиция пессимиста:

$$\max_i e_{ir} = \max_i \left\{ \min_j e_{ij} \right\}, \quad (1.6)$$

ориентируется на то, что выпадет наименее благоприятный случай, и приписывает каждому из альтернативных вариантов наихудший из возможных результатов. После этого ЛПР выбирает самый выгодный вариант, то есть ожидает наилучшего результата при наихудшем состоянии внешней среды.

Позиция относительного пессимизма:

$$\max_i e_{ir} = \min_i \max_j \left\{ \max_i e_{ij} - e_{ij} \right\}, \quad (1.7)$$

в этом случае для каждого варианта решения ЛПР оценивает потери по сравнению с определенным по каждому варианту наилучшим результатом, а затем из совокупности наихудших результатов выбирает наилучший согласно данной оценочной функции.

Влияние исходной позиции ЛПР на эффективность результатов можно интерпретировать, исходя из наглядных представлений. Простейшим здесь является графическое изображение на плоскости, соответствующее двум внешним состояниям при m вариантах решения.

Введем прямоугольную систему координат. По оси абсцисс отложим значения результатов решений e_{i1} , соответствующие внешнему состоянию F_1 , а по оси ординат – значения e_{i2} , соответствующие состоянию F_2 .

Каждый вариант решения E_i таким образом, соответствует точке (e_{i1}, e_{i2}) , $i = 1, 2, \dots, m$ на плоскости. Все m точек (e_{i1}, e_{i2}) лежат внутри прямоугольника, стороны которого параллельны координатным осям, а противоположные вершины – *утопическая точка* с координатами $(\max e_{i1}, \max e_{i2})$ и *антиутопическая точка* с координатами $(\min e_{i1}, \min e_{i2})$ $i = 1, 2, \dots, m$. Данный прямоугольник называется *полем полезности решений*.

Чтобы сравнить варианты решений с точки зрения их качества, назовем вариант E_i не худшим, чем вариант E_j , если для соответствующих точек (e_{i1}, e_{i2}) и (e_{j1}, e_{j2}) выполняются неравенства:

$$e_{i1} \geq e_{j1} \text{ и } e_{i2} \geq e_{j2},$$

причем решение E_i считается лучшим, если хотя бы одно из двух неравенств является строгим.

Очевидно, что при таком определении не все варианты решения допускают сравнение друг с другом, так как в общем случае существуют варианты решений E_i и E_j , такие что, например, $e_{i1} < e_{j1}$, но $e_{i2} > e_{j2}$. Это означает, что в поле полезности решений установлено отношение *частичного порядка*.

Выберем в поле полезности некоторую точку РТ. С помощью прямых, параллельных координатным осям, разобьем плоскость на четыре части и обозначим их I, II, III, IV. В случае произвольной размерности эти части будем называть *конусами*. Все точки конуса I, в смысле введенного выше порядка, являются лучшими, чем точка РТ, и, соответственно, все точки конуса III являются заведомо худшими, чем точка РТ. Поэтому конус I называется *конусом предпочтения*, а конус III – *антиконусом*. Оценка же точек конусов II и IV является неопределенной, и поэтому эти конусы носят название *конусов неопределенности*. Для точек конусов неопределенности оценки получаются только с помощью выбранного критерия принятия решений (рисунок 1.1).

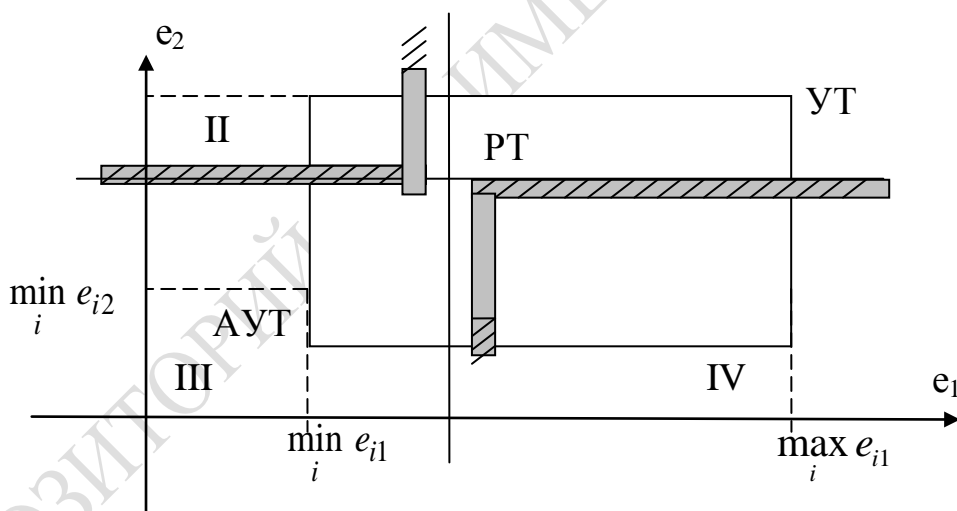


Рисунок 1.1 – Поле полезности решений

Контрольные упражнения

1 Составьте матрицу решений для конкретной предметной области, включающую три возможные стратегии поведения и пять вариантов внешних состояний. Матрица не должна содержать доминируемых строк и столбцов.

2 Для разработанной матрицы решений рассчитайте все представленные оценочные функции и укажите для каждой из них избираемую стратегию поведения.

3 Для первых двух вариантов внешних состояний постройте поле полезности. Для произвольной расчетной точки отметьте на построенном поле конусы предпочтений, утопическую и антиутопическую точки.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

2 Неформализуемые задачи теории принятия решений

2.1 Метод анализа иерархий

Начиная с конца 70-х годов, для исследователей все более очевидным становился тот факт, что большинство задач, связанных с изучением сложных экономических и социальных систем, не может быть строго формализовано. Зачастую строгая математическая формализация задачи приводит к ее упрощению и, как следствие, к получению неоптимальных результатов. Именно в этот период возрос интерес к так называемым методам экспертного оценивания, одним из которых и является метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским ученым Т. Л. Саати.

Метод Саати состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составные части и дальнейшей обработке последовательности суждений ЛПР по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень взаимодействия элементов в иерархии проблемы. МАИ включает в себя процедуры декомпозиции проблемы, синтеза множественных суждений эксперта, получения приоритетных критериев и нахождения альтернативных решений. Метод базируется на приведенных ниже принципах.

1) **Принцип идентичности и декомпозиции.** Данный принцип предусматривает структурирование проблемы в виде иерархии или сети, что является первым этапом применения МАИ. Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня связан со всеми элементами последующего уровня. Простейшая полная иерархия проблемы многокритериального выбора включает в себя следующие три уровня (рисунок 2.1):



Рисунок 2.1 – Иерархия проблемы

2 Принцип дискриминации и сравнительных суждений. Чтобы установить приоритеты критериев, получить оценки для альтернативных решений, в МАИ используется метод парных сравнений: строятся матрицы парных сравнений

$$A = \|a_{ij}\| ,$$

где $a_{ij} = w_i / w_j$, w_i – «вес» i -го элемента иерархии.

Очевидно, что $a_{ii} = 1$, $a_{ij} = 1 / a_{ji}$. При заполнении матриц парных сравнений ЛПР рекомендуется пользоваться следующей шкалой относительной важности для a_{ij} (таблица 2.1):

Таблица 2.1 – Шкала относительной важности

a_{ij}	Пояснения
1	Равная важность сравниваемых элементов иерархии
3	Умеренное превосходство i -го элемента иерархии над j -м
5	Существенное или сильное превосходство i -го элемента
7	Значительное превосходство i -го элемента
9	Очень значительное превосходство i -го элемента
2, 4, 6, 8	Промежуточные степени превосходства

Между собой сравниваются только элементы, принадлежащие к одному уровню иерархии, сравнение происходит по степени их соответствия конкретному элементу вышестоящего уровня.

Таким образом, для проблемы, обладающей приведенной выше простой иерархией, необходимо будет составить $N+1$ матрицу парных сравнений (одну – для сравнения элементов второго уровня, то есть – критериев, по степени их важности для ЛПР при достижении цели, и N матриц – для сравнения элементов третьего уровня, то есть альтернативных решений, по степени их соответствия каждому из N критериев).

3 Принцип синтеза приоритетов. Для каждой построенной на предыдущем шаге матрицы можно рассчитать локальные приоритеты сравниваемых элементов. Каждой строке матрицы, а следовательно, соответствующему элементу, ставят в соответствие геометрическое среднее ее элементов. Суммируя полученные результаты и разделив геометрические средние каждой из строк матрицы на эту сумму, получают локальные приоритеты соответствующих сравниваемых элементов.

Важно вычислить индекс согласованности (ИС) суждений по каждой матрице:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (2.1)$$

где n – размерность матрицы,

λ_{\max} – сумма произведения элементов нормализованного вектора приоритетов и вектора сумм по столбцам матрицы суждений.

Далее проводится сравнение ИС с индексом случайной согласованности (СС), который определяется исходя из размерности матрицы суждений. Значения индекса представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Случайная согласованность

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Определяя ИС и СС, находим отношение согласованности

$$ОС = \frac{ИС}{СС}. \quad (2.2)$$

Если для конкретной матрицы окажется, что $ОС > 0,17$, то можно утверждать, что суждения эксперта, на основе которых заполнена исследуемая матрица, сильно рассогласованы, и ему надлежит заполнить матрицу заново, более внимательно используя при этом шкалу парных сравнений.

Теперь обратимся непосредственно к принципу синтеза приоритетов – вычислению глобального приоритета. Приоритеты синтезируются, начиная со второго уровня вниз.

Локальные приоритеты альтернатив перемножаются на приоритеты соответствующих критериев предшествующего уровня и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями. Приоритеты элементов второго уровня умножаются на единицу.

Таким образом, для применения МАИ необходимо:

- 1) исходя из целей анализа и существующих альтернатив выделить возможные выгоды и издержки;
- 2) установить иерархию для выделенных выгод и издержек;
- 3) провести анализ и парные сравнения на соответствующих уровнях иерархий (составить и заполнить матрицы сравнений);
- 4) рассчитать локальные приоритеты и согласованность суждений для матриц сравнений;

5) зная локальные приоритеты всех элементов иерархии, вычислить глобальные приоритеты для альтернатив, для выгод и для издержек;

б) отношение приоритетов выгод к приоритетам издержек по каждой из альтернатив даст оптимальное решение (лучшей будет альтернатива с максимальным показателем).

Данный подход, основанный на методе МАИ, опирается на рассмотрение доходов и издержек одновременно.

Для решения сложных проблем, иерархия которых не может быть сведена к трех- или четырехуровневой структуре, возможна следующая их декомпозиция по иерархии.

В вершине иерархии устанавливается единственный элемент – фокус – формулировка исследуемой проблемы.

Во второй (не обязательный) уровень следует включать различные экономические, политические и социальные силы, влияющие на исход.

Третий уровень – факторы, которые реально влияют на ситуацию путем манипулирования этими силами.

Четвертый уровень – преследуемые цели каждого фактора.

Пятый (не обязательный) уровень включает политики факторов, посредством которых они пытаются достичь своих целей.

Шестой уровень – альтернативные возможные сценарии или исходы, за которые борется каждый фактор ради достижения своих целей.

Седьмой уровень – обобщенный исход как результат реализации и взаимодействия возможных альтернативных сценариев развития проблемы.

2.2 Методы ЭЛЕКТРА, Подиновского и порядковой оптимизации в задачах экспертного выбора

Методы ЭЛЕКТРА. Группа методов (ЭЛЕКТРА I, ЭЛЕКТРА II, ЭЛЕКТРА III) была разработана коллективом французских ученых, возглавляемым профессором Б. Руа. В этих методах бинарное отношение предпочтения, более сильное, чем отношение Парето, строится следующим образом.

Для каждого из n критериев (предполагается, что критерии числовые) определяется вес – число, характеризующее важность соответствующего критерия, которое тем больше, чем важнее для ЛПР соответствующий критерий. Эти веса могут быть определены либо ранжированием, либо, например, по методу Саати. Для того чтобы определить, превосходит альтернативный вариант $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, вариант $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ (где x_i, y_i – значения i -го критерия, сообщаемые ему вариантами x и y соответственно), производятся следующие действия.

Множество I критериев разбивается на три подмножества:

- $I^+(x, y)$ – критерии, по которым x превосходит y ;
- $I^=(x, y)$ – критерии, по которым x и y имеют одинаковые оценки;
- $I^-(x, y)$ – критерии, по которым y превосходит x .

Далее определяется относительная важность $P_{xy}^+, P_{xy}^=, P_{xy}^-$ каждого из этих подмножеств. Устанавливается также некоторый порог c и считается, что вариант x превосходит вариант y только в том случае, когда некоторая функция, называемая индексом согласия, удовлетворяет условию

$$f(P_{xy}^+, P_{xy}^=, P_{xy}^-) \geq c. \quad (2.3)$$

Вид функции f определяется по своему для каждой модификации метода ЭЛЕКТРА.

Условие (2.3) является необходимым, но не достаточным условием превосходства x над y . В методах ЭЛЕКТРА формулируются дополнительные условия, предназначенные учитывать не только порядок следования оценок x и y по критериям, но и значения модулей разностей $x_i - y_i$. Эти условия, называемые индексом несогласия, могут быть записаны в виде:

$$d_{xy} \leq d, \quad (2.4)$$

где d – пороговое значение индекса несогласия d_{xy} , а d_{xy} для каждой модификации метода ЭЛЕКТРА определяются по-своему.

Таким образом, отношение предпочтения R определяется следующим образом:

$$xRy \Leftrightarrow f(P_{xy}^+, P_{xy}^=, P_{xy}^-) \geq c \wedge d_{xy} \leq d. \quad (2.5)$$

Особенность методов ЭЛЕКТРА состоит в том, что в них несколько отступают от традиционных методов выделения подмножества недоминируемых вариантов. Следуя теории игр, их создатели предлагают несколько расширить это подмножество путем выделения в исходном множестве некоего ядра, все элементы которого несравнимы между собой, а любой вариант, в ядро не вошедший, доминируется хотя бы одним элементом ядра.

Выделение ядра на множестве исходных вариантов является заключительным этапом методов ЭЛЕКТРА. Дальнейшее сужение ядра может быть достигнуто заданием других, более жестких ограничений в

условиях (2.3) и (2.4), то есть увеличением порогового значения индекса согласия s и уменьшением порогового значения индекса несогласия d .

Опишем более конкретно применение данного метода.

Во всех модификациях метода ЭЛЕКТРА на первом этапе с помощью ЛПР определяются веса критериев – положительные действительные числа, которые тем больше, чем важнее для ЛПР соответствующий критерий. Такой подход, конечно, имеет существенный недостаток – неоднозначность определения весовых коэффициентов. Однако полностью избежать субъективных оценок в процедуре принятия решений невозможно, следует лишь с большой тщательностью подходить к определению весов. Здесь можно воспользоваться, например, процедурой описанного выше метода Саати. Пусть при назначении весов критериям, по которым предстоит выбрать автомобиль, от ЛПР получена следующая информация: цена (критерий 1) важнее комфортности (критерий 2), а та, в свою очередь, важнее скоростных качеств (критерий 3) и внешнего вида автомобиля (критерий 4). Кроме того, критерий 3 и 4 имеют одинаковую важность, а рассматриваемые совместно имеют большую важность, чем критерий 1 (цена). Таким образом, ЛПР сообщил информацию о критериях качественного типа, и на ее основе необходимо назначить веса критериев p_t ($t = 1, 2, 3, 4$) так, чтобы выполнялись соотношения:

$$p_1 > p_2 > p_3 = p_4, p_3 + p_4 > p_1.$$

Решение $p_1 = 5$, $p_2 = 4$, $p_3 = p_4 = 3$ далеко не единственное. И хотя описанную неоднозначность при переводе чисто качественной информации о критериях в числовую полностью устранить невозможно, использование метода Саати будет способствовать более корректному выбору весов критериев.

Далее определяются важности групп критериев $I^+(x, y)$, $I^-(x, y)$, $I^-(x, y)$ для каждой пары сравниваемых альтернатив x и y :

$$P_{xy}^* = \sum_{t \in I^*(x, y)} p_t, *, * \in \{+, -, =\}.$$

В качестве условия (2.3) в методе ЭЛЕКТРА I предлагается рассматривать выражение вида

$$\frac{P_{xy}^+ + P_{xy}^-}{\sum_{t=1}^n p_t} > c_1 \quad \left(\frac{1}{2} \leq c_1 \leq 1 \right), \quad (2.6)$$

в методе ЭЛЕКТРА II – выражение вида

$$\frac{P_{xy}^+}{P_{xy}^-} > c_2 \quad (c_2 \geq 1). \quad (2.7)$$

Следует отметить, что условие (2.6) можно применять лишь тогда, когда сравнение альтернатив происходит в строгих шкалах (тогда множество P_{xy}^- пусто) или когда число совпадающих оценок у различных вариантов достаточно мало по сравнению с n . В противном случае, отношение предпочтения может оказаться симметричным: x лучше y (xRy) и y лучше x (yRx) одновременно. Поэтому, если используются нестрогие шкалы, то лучше выбрать условие (2.7).

Использование порядковых отношений, то есть отношений, основанных лишь на порядковой информации о сравниваемых альтернативных вариантах, связано с двумя существенными проблемами.

Первая, присущая всему классу порядковых отношений, – это то, что незначительный выигрыш по одному критерию может сопутствовать большому проигрышу по другому критерию. Например, если $n = 5$, $x = (10, 10, 10, 1, 1)$, $y = (9, 9, 9, 10, 10)$ и все критерии имеют одинаковую важность, то при $c_2 = 1$ вариант x превосходит y (2.7), хотя преимущество x над y по первым трем критериям весьма незначительно, а по двум последним критериям x значительно уступает y . Чтобы как-то избежать подобных ситуаций в ЭЛЕКТРА и используется условие (2.4). Используя это условие, мы определяем некоторую область несравнимости – область несогласия D , такую, что для любых вариантов x и y из того, что $(x, y) \in D$, следует, что x и y не сравнимы. Если, например, $D = \{(x, y) : \exists t = 1, 2, \dots, n, x_t - y_t > 5\}$, то это означает, что y не может доминировать x , если уступает ему более пяти единиц хотя бы по одной компоненте (критерию).

Вторая сложность, возникающая при использовании порядковых отношений и их модификаций, связана с возможностью появления циклов, то есть таких ситуаций, когда x^1 лучше, чем x^2 , x^2 лучше, чем x^3, \dots, x^{k-1} лучше, чем x^k , а вот x^k , в свою очередь, лучше x^1 . В связи с этим, при использовании порядковых отношений необходимо помнить о возможности возникновения подобных ситуаций и избегать их. В методах ЭЛЕКТРА данная проблема не рассматривается. Если говорить о методе Саати, то наличие процедуры проверки согласованности матриц парных сравнений как раз и нацелено на то, чтобы избежать подобных ситуаций.

В заключение описания метода ЭЛЕКТРА приведем иллюстративный пример. Пусть в исходном множестве альтернативных вариантов, сравниваемых по пяти критериям, определены следующие семь недоминируемых по Парето:

$$x^1 = (5, 3, 2, 7, 2); \quad x^2 = (4, 2, 3, 5, 1); \quad x^3 = (3, 4, 1, 6, 3);$$

$$x^4 = (7, 1, 4, 1, 7); \quad x^5 = (1, 6, 6, 4, 5); \quad x^6 = (2, 7, 5, 2, 6); \quad x^7 = (6, 5, 6, 3, 4).$$

Применим метод ЭЛЕКТРА для того, чтобы, получив у ЛПР дополнительную информацию, сократить число вариантов, которое будет предложено ему для окончательного выбора.

1-й этап. От ЛПР получается информация о сравнительной важности критериев. Пусть ЛПР сообщил, что:

- критерии 1 и 2 имеют одинаковую важность;
- критерии 3, 4 и 5 имеют также одинаковую важность;
- каждый из первых двух критериев важнее каждого из оставшихся.

Пусть в соответствии с этой информацией критериям назначены веса: $p_1 = p_2 = 2, p_3 = p_4 = p_5 = 1$

2-й этап. Строим матрицу 7×7 , в которой элемент a_{ij} определяется следующим образом:

$$a_{ij} = P_{x^i x^j}^+ / P_{x^i x^j}^-.$$

Допустим, что в качестве порогового значения индекса согласия выбрано на основе консультаций с ЛПР $c_2 = 1,25$. Как видно из таблицы 2.3, любой из семи вариантов доминируется хотя бы одним из остальных.

Таблица 2.3 – Матрица значений a_{ij}

—	6	1,3	0,75	0,75	0,75	0,17
0,17	—	0,75	0,75	0,75	0,75	0,17
0,75	1,3	—	0,75	0,75	0,75	0,17
1,3	1,3	1,3	—	0,75	0,75	0,75
1,3	1,3	1,3	1,3	—	0,4	1,3
1,3	1,3	1,3	1,3	2,5	—	0,75
6	6	6	1,3	0,75	1,3	—

Поэтому без учета индекса несогласия подмножество оптимальных вариантов оказалось бы пустым.

3-й этап. С помощью ЛПР устанавливается индекс несогласия. Пусть $D = \{(x, y): x_t - y_t > 5\}$.

В этом случае один из вариантов, x^7 , оказывается недоминируемым, оптимальным будет считаться и вариант x^5 , который несравним с x^7 .

Таким образом, применение метода ЭЛЕКТРА позволило более полно учесть мнение ЛПР и сократить исходное множество недоминируемых по Парето решений до двух элементов. Следует, однако, отметить, что группа методов ЭЛЕКТРА не лишена традиционных недостатков, присущих многим современным методам многокритериальной оптимизации.

Метод Подиновского. Метод Подиновского также имеет своей целью построение более сильного, нежели паретовское, бинарного отношения предпочтения. Как и в ЭЛЕКТРА, для этого используется дополнительная информация о сравнительной важности критериев. Однако основное и существенное отличие метода Подиновского состоит в том, что качественная информация о критериях, получаемая от ЛПР, не преобразуется в количественную. Автору метода впервые в практике многокритериальной оптимизации удалось освободиться от необходимости ввода весовых коэффициентов важности критериев, вносящих большую неопределенность в решение задачи.

Информация о сравнительной важности критериев задается совокупностью сообщений ЛПР типа:

- критерий t важнее, чем критерий j (tBj);
- критерии t и j равноценны (tSj);
- набор критериев (t_1, \dots, t_n) важнее, чем набор (j_1, \dots, j_m) ;
- наборы критериев (t_1, \dots, t_n) и (j_1, \dots, j_m) равноценны по важности.

Построенное на основании информации о важности критериев бинарное отношение предпочтения позволяет существенно сузить множество Парето. Так, если имеется информация о том, что все n критериев равноценны, то при большом числе сравниваемых вариантов это позволяет сузить паретовское множество приблизительно в $n!$ раз.

Рассмотрим применение метода Подиновского для решения описанной выше задачи в наиболее благоприятном случае, когда все критерии для ЛПР равноценны. Тогда, следуя методу Подиновского, нам необходимо упорядочить оценки каждого из альтернативных вариантов (например, по убыванию) и среди полученных векторов выбрать в качестве оптимальных недоминируемые по Парето. Упорядочив оценки, получаем:

$$\begin{aligned} \tilde{x}^1 &= (5, 3, 2, 7, 2); & \tilde{x}^2 &= (4, 2, 3, 5, 1); & \tilde{x}^3 &= (3, 4, 1, 6, 3); & \tilde{x}^4 &= (7, 1, 4, 1, 7); \\ \tilde{x}^5 &= (1, 6, 6, 4, 5); & \tilde{x}^6 &= (2, 7, 5, 2, 6); & \tilde{x}^7 &= (6, 5, 6, 3, 4). \end{aligned}$$

Среди вновь образованных упорядоченных векторов оценок недоминируемыми по Парето оказались векторы \tilde{x}^4 и \tilde{x}^7 . Следовательно, руководствуясь методом Подиновского, в качестве эффективных решений при равнозначности критериев рекомендуются варианты x^4 и x^7 .

Метод Подиновского в описанном виде может быть применен только в случае однородности критериев, то есть критериев, значения которых принадлежат одному и тому же множеству. Примером однородных критериев может служить, например, множество суждений одинаково компетентных экспертов, оценивающих варианты по одной и той же шкале. В этом случае действительно может быть не принципиально, получил вариант x оценки экспертов $x_1 = a, x_2 = b$ или $x_1 = b, x_2 = a$. Сложности появляются, когда критерии оказываются неоднородными, что бывает довольно часто. При неоднородных критериях определение их сравнительной важности сводится, по-существу, к определению коэффициентов важности критериев. Это является основным недостатком метода Подиновского, и в этом случае чаще целесообразнее использовать методы ЭЛЕКТРА.

Метод порядковой оптимизации. В основе данного метода лежит аппроксимация изнутри структуры предпочтений ЛПР, описываемой бинарным отношением, некоторым отношением из конечного класса.

В основе метода порядковой оптимизации лежит следующая процедура:

- определение упорядочения критериев по важности;
- нахождение порядковых отношений, удовлетворяющих этому упорядочению;
- построение пересечения по всем этим порядковым отношениям, которое и будет аппроксимацией R^* предпочтений ЛПР.

Для иллюстрации метода вновь рассмотрим пример сравнения семи вариантов по пяти критериям.

Допустим, что в роли ЛПР выступает покупатель автомобиля. Он сформулировал пять критериев, которыми будет руководствоваться при выборе: цена (критерий 1), комфортность (критерий 2), фирма-производитель (критерий 3), скоростные качества (критерий 4), внешний вид автомобиля (критерий 5). Пусть в результате опроса ЛПР получена следующая информация о важности критериев: входящие в группы $L_1 = \{1, 2\}$ и $L_2 = \{3, 4, 5\}$ имеют одинаковую важность, причем каждый критерий из L_1 важнее любого критерия из L_2 . Кроме того, после дополнительного уточнения структуры предпочтений покупателя, проведенного на основе его опроса специалистом по маркетингу, было определено, что в качественное понятие «быть лучше» ЛПР вкладывает следующий смысл: «быть лучше – значит быть лучше по первым двум и по любой паре из оставшихся трех критериев». Нетрудно показать, что в этом случае полином аппроксимирующего отношения имеет вид:

$$f_{R^*}(u) = u_1 u_2 (u_3 u_4 + u_3 u_5 + u_4 u_5) .$$

Если рассматривать предыдущий пример, то недоминируемыми по R^* будут варианты x^4, x^5, x^6, x^7 . Чем сильнее будут упорядочены критерии, тем меньшее число альтернативных вариантов будет рассматриваться в качестве эффективных. Пусть, например, удалось упорядочить все критерии, кроме двух последних:

$$\text{крит.1} \rightarrow \text{крит.2} \rightarrow \text{крит.3} \rightarrow (\text{крит.4} \leftrightarrow \text{крит.5}).$$

В этом случае аппроксимирующий полином имеет вид:

$$f_{R^*}(u) = u_1(u_2 + u_3(u_4 + u_5))$$

и выбранными окажутся только два варианта: x^4 и x^7 . Вариант x^7 всегда оказывался в числе рекомендуемых ЛПР для окончательного выбора.

Метод порядковой аппроксимации также не лишен недостатков. К ним можно отнести следующие:

1) процесс получения от ЛПР информации о сравнительной важности критериев достаточно трудоемок. В общем случае, мы должны задать ЛПР порядка n^2 вопросов. Хотя надо отметить, что на практике при благоприятных условиях число вопросов к ЛПР может быть снижено до n ;

2) ЛПР может, не отдавая себе в этом отчета, давать противоречивую информацию о сравнительной важности критериев;

3) главный недостаток: информация по сравниваемым альтернативам должна быть представлена в строгих шкалах, иначе составление аппроксимирующего полинома будет крайне затруднено.

Что касается положительных сторон данного метода, то следует отметить следующее. Для решения задач выбора в строгих шкалах при сравнительно небольшом числе критериев (5–9) этот метод особенно эффективен. Он дает возможность обоснованно, без внесения произвола, аппроксимировать предпочтения ЛПР. Несомненное достоинство метода также и в том, что он не зависит (в отличие от ЭЛЕКТРА) от числа сравниваемых вариантов. Критерии могут иметь произвольную природу, и они не обязаны быть однородными, как при использовании метода Подиновского.

2.3 Ранжирование альтернатив и групповой экспертный выбор

Постановка задачи. Эффективное управление большими системами в значительной степени зависит от качества решений, принимаемых в сложных ситуациях на основе оценок и мнений специалистов, то есть

на основе экспертных оценок. Экспертные оценки могут явиться важным источником информации при решении задач управления, формировании целевой функции управляемых объектов, при исследовании объектов, выборе переменных, существенно влияющих на исследуемый процесс и т. д.

Опишем кратко методы выявления, формализации и обработки неявной, качественной, субъективной информации, которая может содержаться во мнениях и высказываниях людей (респондентов). Исследование, проводимое группой специалистов, состоит из нескольких этапов:

- формулирование конкретной цели исследования;
- выбор экспертов, которые должны быть опрошены;
- выбор метода опроса P ;
- разработка опросного листа (анкеты); Анкета должна состоять из вопросов, на которые эксперты должны дать ответы в определенной форме. Ответ j -го эксперта на t -й вопрос обозначим x_t^j ;
- обработка результатов опроса.

Опыт показывает, что к опросу следует привлекать экспертов, принадлежащих к возможно большему числу различных направлений или научных школ в соответствующей области. При составлении экспертной группы необходимо предусмотреть возможность взвешивания ответов экспертов согласно их компетентности. Учет их компетентности может существенно изменить результаты обработки данных опроса.

Под методом опроса P подразумеваются: метод составления анкеты ($p1$), число вопросов в анкете ($p2$), число повторных опросов ($p3$), позволяющих скорректировать анкету на основе предыдущих опросов. Опрос может быть как очным, так и заочным. При заочном опросе личный контакт исследователя с экспертом отсутствует. Преимущество этого метода заключается в его простоте и дешевизне, однако этот метод дает большое число незаполненных или неверно заполненных анкет. Очный опрос дает лучшие результаты, но требует больших затрат времени и средств. Кроме того, во время личной беседы исследователь, помимо собственной воли, может определенным образом повлиять на возможные ответы эксперта. Поэтому предварительно должен быть составлен и испытан план личной беседы, которого в ходе опроса, также как и формулировок вопросов, необходимо строго придерживаться.

Ранжирование альтернатив. Это порядковый метод измерения качественной информации. Для количественного представления сведений экспертов об объекте, носящих чаще всего качественный характер, применяются специальные методы. Один из способов измерения качественной информации – введение порядковых шкал. Данные, измеренные в по-

рядковой шкале, позволяют установить между объектами отношения «равно», «больше», «меньше» (вспомним методы Саати, Подиновского, ЭЛЕКТРА). Рассмотрим один из методов измерения данных в порядковых шкалах – метод ранжирования. Этот метод состоит в расположении объектов в порядке убывания (возрастания) какого-либо свойства, присущего им. Обычно степень, с которой то или иное свойство присуще объектам, не поддается количественному измерению и оценивается только качественно, а объекты можно сравнить между собой по степени их соответствия данному качеству.

Пусть n элементов, обладающих свойством X , расположены экспертами в порядке возрастания или убывания степени обладания этим свойством. Обозначим через x_i место (ранг) i -го элемента среди остальных $(n-1)$ элементов. Сумма рангов в таком ряду составляет при сравнении в строгих шкалах, т.е. когда нет повторяющихся рангов:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (2.8)$$

так как это есть сумма n членов арифметической прогрессии: $a_1 = 1, a_n = n$.

Это соотношение обычно выполняется, когда число ранжируемых объектов невелико ($n \leq 10$). Если эксперты затрудняются присвоить всем сравниваемым объектам различные ранги, то тогда сравнение будет вестись в нестрогих шкалах (эксперты будут присваивать нескольким объектам одинаковые ранги). Тогда общее число N рангов будет меньше n . В этом случае полученную ранжировку необходимо привести к так называемому нормальному виду, то есть к такому виду, при котором условие (2.8) выполняется. Для этого используется процедура развязывания рангов. При ее применении объектам, имеющим одинаковые ранги, приписывается ранг, равный среднему значению мест, которые объекты поделили между собой в ранжировке с совпадающими рангами. Например, пусть имеется следующая ранжировка (x_i) шести объектов (таблица 2.4):

Таблица 2.4 – Начальная ранжировка объектов

Объекты	t	1	2	3	4	5	6
Ранги	x_t	1	2	3	3	2	3

Объекты 2-й и 5-й поделили между собой места второе и третье. Поэтому в новой ранжировке, соответствующей развязанным рангам, этим

объектам приписывается одинаковый ранг, равный $(2 + 3)/2 = 2,5$. Объекты 3, 4, 6 поделили в ранжировке между собой места 4, 5, 6, поэтому приписываем им ранг, равный $(4 + 5 + 6)/3 = 5$. Таким образом, новая ранжировка, ранги которой уже удовлетворяют соотношению (2.8), имеет вид (таблица 2.5):

Таблица 2.5 – Новая ранжировка объектов

Объекты	t	1	2	3	4	5	6
Ранги	x_t	1	2,5	5	5	2,5	5

Анализ ранжированных данных. В результате использования метода ранжирования получается упорядоченный ряд, элементами которого являются ранги. Будем считать ранги случайными числами и введем для них статистику связи. Показателем связи ранжированных рядов может служить коэффициент ранговой корреляции.

Пусть n объектов ранжированы сначала по степени обладания свойством X , а затем по степени обладания свойством Y . Коэффициент ранговой корреляции оценивает степень связи между этими рядами. Ранжировки представим в виде:

$$\begin{aligned} X &: x_1, x_2, \dots, x_n \\ Y &: y_1, y_2, \dots, y_n \end{aligned}$$

Предположим, что условие (2.8) выполняется. Пусть требуется определить связь между свойствами X и Y для n объектов. Обозначим связь между рангами x_i и x_j через a_{ij} , а связь между y_i и y_j – b_{ij} . Для них выполняются соотношения:

$$a_{ij} = -a_{ji}, \quad a_{ii} = 0, \quad b_{ij} = -b_{ji}, \quad b_{ii} = 0.$$

Тогда коэффициент корреляции определяется как

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}^2}. \quad (2.9)$$

Если в формуле (2.9) положить $a_{ij} = x_j - x_i$, $b_{ij} = y_j - y_i$ и учесть, что ранги x_i и y_j суть числа натурального ряда, то путем несложных преобразований получим коэффициент ранговой корреляции Спирмэна:

$$p = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6S}{n(n^2 - 1)}. \quad (2.10)$$

В том случае, когда ранжировки содержат совпадающие ранги, выражение для p принимает вид:

$$p = 1 - \frac{\frac{1}{6}(n^3 - n) - \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 - T - U}{\left\{ \frac{1}{6}(n^3 - n) - 2T \right\}^{1/2} \left\{ \frac{1}{6}(n^3 - n) - 2U \right\}^{1/2}}, \quad (2.11)$$

$$\text{где } T = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n t_i(t_i^2 - 1); \quad U = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n u_i(u_i^2 - 1);$$

t_i, u_i – числа повторений i -го ранга в ранжировках по X и Y .

Проверка значимости коэффициента ранговой корреляции. Исследование распределения вероятностей коэффициента ранговой корреляции показывает, что при отсутствии связи в ранжировках распределение величины p стремится к нормальному распределению с дисперсией $\sigma_p^2 = 1/(n-1)$. Поэтому для оценки значимости p можно воспользоваться нормальным законом распределения.

Пример. На предприятии по производству синтетического каучука требовалось установить, существует ли связь между степенью износа сита и производительностью лентоотливочной машины. Для этого были проранжированы степень износа сита (X) и производительность (Y) для различных ($n=12$) моментов времени. Результаты ранжирования представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Ранжировка степени износа сита и производительности

Износ сита x_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производительность y_i	2	3	1	4	6	5	7	10	11	8	12	9
$ x_i - y_i $	1	1	2	0	1	1	0	2	2	2	1	3
$(x_i - y_i)^2$	1	1	4	0	1	1	0	4	4	4	1	9

Рассчитав сумму S и коэффициент p , получаем:

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 = 30;$$

$$p = 1 - \frac{6 \cdot 30}{12 \cdot 143} \approx 0,895.$$

Для оценки значимости полученного коэффициента воспользуемся таблицей нормального распределения. Для этого вычислим среднеквад-

ратическое отклонение распределения коэффициента p :

$$\sigma_p = \left(\frac{1}{n-1} \right)^{1/2} \approx 0,3.$$

Приняв, например, уровень значимости $\alpha = 0,05$, находим $p_{кр} = 1,96$ – значение аргумента функции Лапласа $\bar{\Phi}(p)$:

$$\bar{\Phi}(p_{кр}) = \frac{1}{2}(1 - \alpha) = \frac{1}{2} p.$$

Так как $p_{кр} < p = p / \sigma_p = 0,895 / 0,3 = 2,98$, то гипотеза о том, что $p = 0$ отвергается.

Конкордация. Степень связи между несколькими ранжировками оценивается коэффициентом конкордации (коэффициентом согласия). Коэффициент конкордации определяет согласованность мнений экспертов при ранжировании n объектов по степени обладания некоторым свойством X .

Пусть имеется n объектов $1, 2, \dots, i, \dots, n$, в разной степени обладающих свойством X , и пусть m экспертов ранжируют эти объекты по свойству X . После ранжировки получится следующая матрица рангов (таблица 2.7):

Таблица 2.7 – Матрица рангов

Эксперты	Объекты					
	1	2	...	i	...	N
1	x_1^1	x_2^1	...	x_j^1	...	x_n^1
2	x_1^2	x_2^2	...	x_j^2	...	x_n^2
...
m	x_1^m	x_2^m	...	x_i^m	...	x_n^m
$\sum_{j=1}^m x_i^j$	$\sum_j x_1^j$	$\sum_j x_2^j$		$\sum_j x_i^j$		$\sum_j x_n^j$

Средний ранг в последнем ряду таблицы будет равен $\alpha = m(n+1)/2$, так как $(n+1)/2$ – средний член каждого из рядов, по которым осуществляется суммирование. Сумма квадратов разностей между членами суммарной ранжировки и членами ряда, составленного из средних значений α , равна

$$S = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m x_i^j - m(n+1)/2 \right\}^2.$$

Величина S достигает максимума, когда все эксперты дают одинаковые ранжировки. Если определить согласованность экспертов как отношение реальной суммы квадратов разностей S к максимально возможной сумме S_{\max} , то получается выражение для коэффициента конкордации, предложенное Кендаллом:

$$W = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}.$$

Величина W изменяется от 0 до 1. $W = 1$ означает, что все эксперты дали одинаковые ранжировки; $W = 0$ означает, что связь между ранжировками, данными экспертами, отсутствует. Если в ранжировках присутствуют совпадающие ранги, то формула для W принимает вид:

$$W = \frac{S}{m^2(n^3 - n)/12 - m \sum_{j=1}^m T_j},$$

где $T_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n (t_{ij}^3 - t_{ij})$, t_{ij} – число повторений t -го ранга в j -м ряду.

Для оценки значимости коэффициента конкордации используется χ^2 -распределение с числом степеней свободы $\varphi = n - 1$, которому подчинена величина $m(n - 1)W$. При $n < 10$ распределение величины $m(n - 1)W$ отличается от χ^2 -распределения и для оценки значимости приходится пользоваться специальными таблицами. При $\varphi = n - 1 > 3\sigma$ может быть использовано нормальное распределение.

Пример использования экспертных оценок. После некоторого усовершенствования технологии производства встал вопрос определения тех или иных факторов, которые оказывают существенное влияние на ход технологического процесса. Был проведен опрос специалистов, работающих с данным оборудованием или, в крайнем случае, хотя бы знакомых с данной технологией. Восемнадцать экспертам необходимо было проранжировать одиннадцать факторов по степени их влияния на ход технологического процесса. В результате была получена матрица ранжированных данных, представленная в таблице 2.8.

Поскольку строки данной матрицы содержат совпадающие ранги, то необходимо провести процедуру развязывания рангов. После этого по новой матрице, имеющей нормальную форму (из-за громоздкости не будем ее приводить), определяются суммы ее столбцов: 51,5; 88,5; 111; 105,5; 141,5; 160; 140; 57; 97,5; 75; 160,5. На основе полученных данных определяется коэффициент конкордации:

$$W = \frac{14066,5}{18^2 \cdot 11 \cdot 120/12 - 18 \cdot 1194/12} = 0,415$$

и величина

$$\chi^2 = m(n-1)W = 18 \cdot 10 \cdot 0,415 = 74,5.$$

Задавшись уровнем значимости $\alpha = 0,01$ при числе степеней свободы $\varphi = n - 1 = 10$ по таблице χ^2 -распределения находим $\chi^2_{кр} = 23,2$.

Таблица 2.8 – Матрица ранжированных данных

Номер эксперта	Номер фактора											T_{ij}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	2	2	2	3	3	4	1	1	2	4	3+4+2+2
2	1	8	3	6	11	10	7	2	9	5	4	0
3	1	4	7	8	6	10	11	3	5	1	9	0
4	3	8	1	4	8	8	5	8	6	2	7	4
5	7	9	1	5	6	6	2	8	3	1	4	2+2
6	1	1	3	2	2	3	4	1	2	1	4	4+3+2+2
7	1	1	2	2	2	3	4	1	2	2	4	0
8	1	2	3	3	3	3	4	2	3	4	4	0
9	1	3	4	3	4	4	4	2	4	1	2	0
10	1	4	4	2	4	4	4	3	3	5	6	0
11	2	5	5	6	7	7	7	3	4	1	8	0
12	2	1	4	3	2	6	1	1	3	1	3	0
13	3	2	5	4	5	6	2	1	3	3	4	0
14	3	2	4	2	6	7	5	1	4	1	8	0
15	2	1	9	5	7	8	10	3	4	6	2	0
16	1	5	3	5	6	6	6	2	4	1	5	0
17	1	4	10	9	7	8	6	2	5	3	11	0
18	4	4	2	3	5	5	5	1	3	5	6	0

Поскольку $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, то гипотеза о согласованности мнений всей группы экспертов принимается. Степень согласованности оценивается коэффициентом $W = 0,415$.

Контрольные упражнения

1) Крупная коммерческой организация решила инвестировать средства в сферу информационных технологий в одной из стран: Беларусь, Россия, Индия, Китай, Южная Корея. Цель инвестиций – получение максимальной прибыли. Методом анализа иерархий Саати проведите декомпозицию проблемы на три-пять уровней, постройте иерархии выгод и издержек.

2) Ранжируйте выделенные в предыдущем задании критерии оценок выгод и издержек. Проведите анализ и корректировку, при необходимости, заданных рангов для оценок, для выгод и издержек.

3) Выберите одну из альтернатив (страну) методом ЭЛЕКТРА или Подиновского.

4) Согласно заданной цели исследования, выберите метод и составьте опросную анкету для экспертов. Проведите опрос пяти-десяти респондентов. Проанализируйте результаты и оцените степень согласованности вопросов и ранжирование данных.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

3 Системы поддержки принятия решений

3.1 Понятие, классификация систем

Система поддержки принятия решений (СППР, англ. Decision Support System, DSS) – это компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь лицам, принимающим решение в сложных условиях, для полного и объективного анализа предметной деятельности.

С помощью систем поддержки принятия решений производится выбор альтернатив среди некоторых неструктурированных и слабоструктурированных задач, в том числе и многокритериальных, а также трудно формализуемых задач. Рассматривая СППР через призму процессов принятия решений, можно выделить три типа поддержки решений:

- 1) информационный;
- 2) модельный;
- 3) экспертный.

Все три типа, реализуемых в СППР, являются информационными системами, призванными помочь в решении неструктурированных задач, а также генерировании альтернатив:

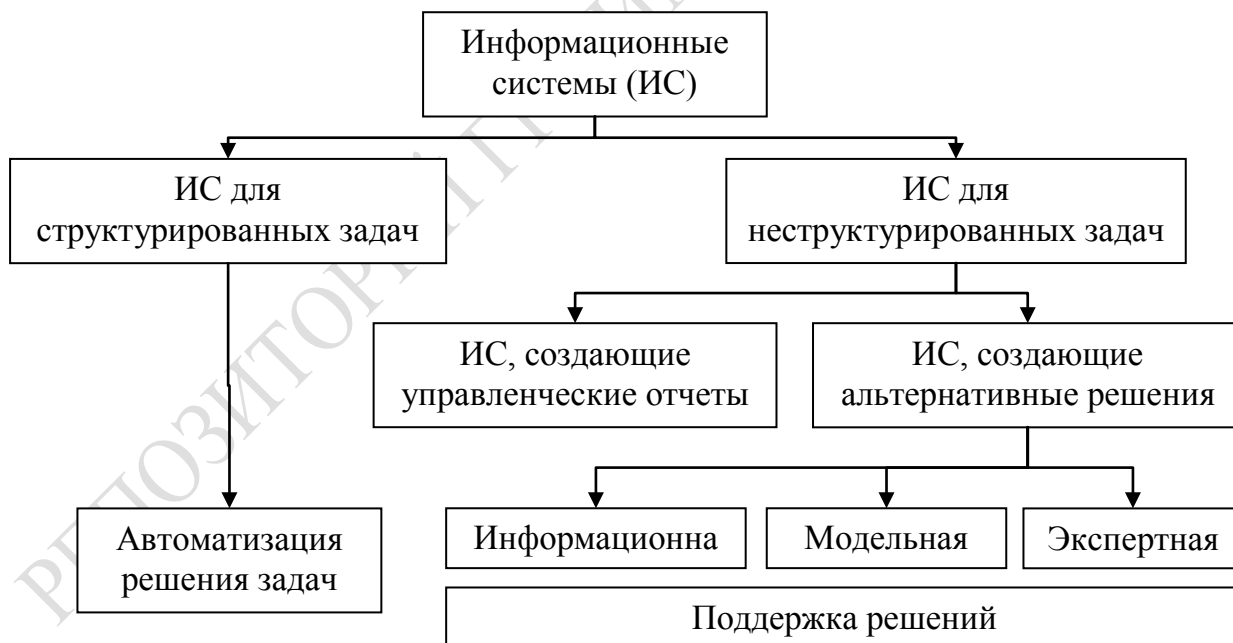


Рисунок 3.1 – Классификация СППР относительно существующих ИС

Информационная поддержка принимаемых решений базируется на двух основных составляющих:

1 Информационные системы управления (ИСУ) – набор различных инструментов для сбора, хранения и обработки информации о деятельности предприятия, являющийся единым целым – системой.

2 Системы автоматизации офиса (САО) – системы, организующие поддержку коммуникации внутри предприятия и с внешними источниками, основанные на базе средств передачи и работы с информацией.

Современные СППР – результат кооперации исследований в таких областях, как базы данных (Data Base) и базы знаний (Data Knowledge); искусственный интеллект (Artificial Intelligence); интерактивные компьютерные системы; методы имитационного моделирования. СППР возникли благодаря слиянию управленческих информационных систем (УИС) и систем управления базами данных (СУБД).

Современные системы поддержки принятия решений используют следующие основные технологии:

- хранилища данных (Data Warehouse);
- инструменты оперативной (в реальном времени) аналитической обработки информации (On-Line Analytical Processing);
- инструменты извлечения данных – (Data Mining), текстов (Text Mining) и визуальных образов (Image Mining).

Одной из самых важных особенностей современных систем поддержки принятия решений является отсутствие возможности оптимизации и ранжирования значений групп показателей на основе их полной совокупности, из-за невозможности существующим математическим методом проводить данные операции. *Современные методы требуют предварительного приведения всех критериев к единой числовой оценке.*

Способов приведения к единой числовой оценке существует достаточно много, и каждый из них может ощутимо повлиять на результаты ранжирования и оптимизации. При этом все решения, принятые разработчиком в ходе процесса проектирования системы, также потенциально могут оказывать влияние на выбор альтернатив. Причем контролировать это влияние пользователь не в состоянии.

Описанный выше принципиальный недостаток традиционных СППР, опирающихся лишь на формальные методы свертки, в современных системах сведен к минимуму. Это достигается за счет сопоставления между собой возможных значений групп показателей. Осуществляется этот процесс пользователем в диалоге с системой, а значения сопоставляются в соответствии с предпочтениями пользователя. В результате получаем функцию предпочтений, сформированную в системе как результат таких сопоставлений пользователем. В дальнейшем на ее основе осуществляются операции ранжирования и оптимизации. В итоге, формальные методы свертки критериев заменены процедурой

определения предпочтений. При этом результаты процедуры выявления предпочтений отражают уникальный подход пользователя к задаче и не подвергаются влиянию со стороны разработчика.

Классификации СППР. На уровне пользователя Р. Haettenschwiler (1999) разделяет системы поддержки принятия решения на три типа:

- пассивные – системы, помогающие процессу принятия решения, но не имеющие возможности выносить предложение, какое именно из решений стоит принимать;
- активные – системы, имеющие возможность делать предложения, какое из доступных решений следует выбрать;
- кооперативные – позволяют лицу, принимающему решение, дополнять и усовершенствовать решения, которые предлагает система, посылая после этого внесенные изменения в систему для проверки. В ответ СППР также дополняет и улучшает решения и снова посылает их пользователю. Данный процесс длится в цикле до момента получения согласованного решения;

На концептуальном уровне D.J. Power (2003) отличает системы, по управляемым ими объектам:

- управляемые сообщениями (Communication-Driven DSS);
- управляемые данными (Data-Driven DSS);
- управляемые документами (Document-Driven DSS);
- управляемые знаниями (Knowledge-Driven DSS);
- управляемые моделями (Model-Driven DSS).

Система, управляемая сообщениями, способна поддерживать группу пользователей, осуществляющих работу над выполнением одной общей задачи. Системы, управляемые данными, ориентируются на доступ и манипуляцию с некими данными. Системы, управляемые документами, осуществляют управление, поиск, манипуляции с имеющейся неструктурированной информацией, заданной в разных формах. Системы, управляемые знаниями, обеспечивают решение задач в форме фактов, правил, процедур. Системы, управляемые моделями, характеризуются доступом и манипуляцией с математическими моделями (например: имитационные, финансовые). Необходимо также отметить, что некоторые из OLAP систем, способные выполнять сложный анализ данных, могут быть классифицированы как класс «гибридных» систем, которые способны обеспечивать и моделирование, и поиск, и обработку данных.

На техническом уровне D. Power (1997) различает системы всего предприятия и настольные системы. Система всего предприятия – это система, которая имеет соединение с большими хранилищами информации и способна обслуживать некоторое количество менеджеров данного предприятия. Настольная же система – это некрупная система,

спроектированная для обслуживания лишь одного пользователя и его компьютера.

На основе данных, с которыми работают, системы условно могут быть разделены на оперативные и стратегические. Оперативные системы спроектированы для немедленного реагирования на произошедшие изменения каких-либо условий. Стратегические системы направлены на анализ больших объемов разнородной информации, получаемой из разных источников. Основной целью этих СППР является нахождение оптимальных альтернатив развития или управления системой.

Системы первого типа (т. е. оперативные) были названы как «Информационные системы руководства» (Executive Information Systems – EIS). Такие системы являются набором конечных отчетов, созданных на основе некоторых данных из транзакционной ИС компании, в идеале реально отражающих в режиме «online» главные аспекты финансовой и производственной деятельности. Для таких систем характерно следующее:

- отчеты основываются на стандартных для организации запросах; число отчетов невелико;
- ИСР демонстрируют отчеты в максимально удобном виде; наряду с таблицами и деловой графикой;
- ИСР направлены на конкретный вертикальный рынок; управление ресурсами, маркетинг, финансы.

Системы второго типа (стратегические) – это системы, предполагающие весьма глубокую проработку информации. Стратегические системы специально преобразованы таким образом, чтобы их удобно было использовать в процессе принятия решений. Неотъемлемым компонентом систем поддержки принятия решения этого уровня являются некие правила принятия решений, которые, основываясь на агрегированных данных, позволяют менеджерам компании обосновывать свои решения, а также снижать риски. Системы второго типа в последнее время получили активное развитие. Технологически данные системы строятся на принципах многомерного представления и анализа данных (OLAP). При создании СППР также можно использовать Web-технологии.

3.2 Методы поддержки принятия решений на основе информационных технологий

Система поддержки решений (СППР) решает две основные задачи:

- выбор наилучшего решения из множества (оптимизация),
- упорядочение решений по предпочтительности (ранжирование).

В обеих задачах первым и наиболее принципиальным моментом является выбор совокупности критериев, на основе которых в дальнейшем будут оцениваться и сопоставляться возможные решения – альтернативы.

Условно СППР можно классифицировать по методам решения определенных проблем: информационный поиск; интеллектуальный анализ данных; извлечение (поиск) знаний в базах данных; рассуждение на основе прецедентов; имитационное моделирование; генетические алгоритмы; искусственные нейронные сети; методы искусственного интеллекта.

Математические методы и модели, используемые в СППР, можно разделить по следующим направлениям:

- 1) методы принятия решения с использованием принципа большинства: PUR1 – PUR12;
- 2) принципа Парето: PRT1 – PRT12;
- 3) многоцелевой оптимизации: OTNUST, USTUP, ABSUST;
- 4) с использованием принципа Байеса: BAJES, BAJNOEXP, BAJPOR, BAJPRIOR, BAJPORPR, LAPLAS, LAPLPOR;
- 5) методы принятия решения в динамической постановке: BELMAN, MARKON, MARKBS;
- 6) в условиях полной неопределенности: WALD, WALDPOR, OPTIMIST, OPTIMPOR, HURWICZ, SAVAGE, BRAUN, HURWPOR.

В настоящее время СППР внедрены в облачные технологии. Отдельным классом выступают «Web-based» СПП.

Рассмотрим «Метод аналитических сетей» в качестве сравнимого (на примере ППО SuperDecisions) с web-based системой «Экспертная система поддержки принятия решений» (EDSS).

3.2.1 Метод аналитических сетей

МАС (Метод аналитических сетей) – более общая форма метода анализа иерархий (МАИ), используемого в условиях мультикритериальности. МАИ структурирует решение проблемы в иерархию с целью определения критерия выбора и альтернативы, в то время как МАС структурирует его в качестве аналитической сети, и затем использует систему парных сравнений для измерения веса компонентов структуры, и, наконец, ранжирует альтернативы в решении.

Существует много проблем, решение которых не может быть принято с помощью МАИ. Например, когда происходит взаимодействие элементов на высоком уровне с элементами более низкого уровня и их зависимости должны быть приняты во внимание. МАС предоставляет решение для проблем, которые не могут быть структурированы иерархически. Определение значения критерия важно не только для альтернатив; как и в иерархии, важность самих альтернатив определяет важность критериев. Поэтому очень многие проблемы могут быть смоделированы с использованием диаграммы «сеть».

Сетевые модели не должны показывать иерархическую структуру, что означает, что они не должны быть линейными сверху вниз. На самом деле МАС использует сеть которой нет необходимости указывать уровни вообще. Поэтому термин «уровень» в МАИ заменяется термином «кластер». Сетевая модель имеет подключения типа «цикл»: кластеры элементов и петли, которые соединяют кластеры самим к себе. Модели этого вида называют системами с обратной связью. На практике многие проблемы связаны с решением обратной связи.

Хотя МАС и МАИ похожи в сравнительной фазе, различия в фазе все-таки есть. В МАС шкала отношений приоритетных векторов, полученных из матриц попарных сравнений, не синтезируется линейно, как в МАИ. Также там нет требования, что каждый элемент кластера оказывает влияние на элемент в другом кластере. В этом случае эти элементы дают нулевое значение за их вклад. А суперматрица, которая состоит из шкал отношений приоритетных векторов, полученная из матриц попарных сравнений и нулевых векторов, должна быть стохастической для получения значимых результатов. Каждый блок векторов-столбцов взвешивается на приоритет соответствующего кластера, их элементы отображаются вертикально на левой стороне матрицы и горизонтально в верхней части матрицы. Чтобы убедиться, что эта матрица является стохастической, можно сравнить сами кластеры, которые находятся на левой стороне по отношению к их воздействию на каждый кластер, на самом верху. Полученные приоритеты кластеров затем используются для весов кластеров по отношению к соответствующему кластеру на самом верху.

В целом, алгоритм МАС включает в себя следующие этапы:

- 1) проектирование сетевой структуры задачи;
- 2) вычисление весов всех элементов каждого из компонентов (с помощью матрицы попарных сравнений – как и в МАИ) согласно их влиянию на остальные компоненты;
- 3) проверка согласованности введенных данных;
- 4) формирование суперматрицы из векторов;
- 5) приведение суперматрицы к стохастическому виду (взвешивание блоков на соответствующие веса в случае отсутствия стохастичности);
- 6) возведение суперматрицы в предельную степень;
- 7) получение результата в первом столбце суперматрицы.

Таким образом, анализ иерархий (МАИ) является способом принятия решений, включающим в себя качественные факторы. В этом методе шкалы коэффициентов получаются из порядковых шкал, которые получают из отдельных суждений по качественным факторам использования

матрицы парных сравнений. Метод аналитических сетей (МАС) также использует матрицу попарных сравнений для получения соотношения масштабов. Разница между этими двумя способами появляется в моделировании задачи и вычисления окончательных приоритетов для альтернатив из соотношений весов полученных ранее. МАИ моделирует принятие решения проблемы с помощью однонаправленного иерархического отношения между элементами решения. Однако МАС позволяет проводить для более сложные взаимосвязи между элементами решения.

В качестве примера практического использования метода аналитических сетей (МАС) рассмотрим программу SuperDecisions.

Программа SuperDecisions используется для принятия решений с зависимостью и обратной связью. Она реализует метод анализа иерархий (МАИ) и метод аналитических сетей (МАС). Оба метода используют одну фундаментальную формулу – процесс определения приоритетов на основе вынесения заключений по парам элементов, или получение приоритетов путем нормализации прямых измерений. В МАИ элементы расположены в виде иерархической структуры с целью описания критериев выбора альтернатив, в МАС же элементы собраны в группы, одна из которых содержит альтернативы, которые включают другие критерии или другие элементы решения. В МАС нет конкретного элемента цели, а приоритеты определяются в рамках относительного влияния каждого из признаков на альтернативы. Кластеры расположены в сети и имеют связь между элементами. Иногда связи располагаются в несколько уровней, например, когда задача распадается на преимущества, возможности, затраты и риски. Большинство методов принятия решений, в том числе и МАИ, предполагают независимость между критериями и альтернативами, или одним из критериев, или одним из альтернатив. В МАС нет подобных ограничений.

3.2.2 Веб-системы поддержки принятия решений

Веб-системы поддержки принятия решений (WB-DSS) являются системами поддержки принятия решений, которые доступны удаленно через сеть Интернет. Они имеют не уступающие настольным системам границы функционала. Однако у них есть характерные признаки, отличающие их от настольных аналогов:

- доступность в интернете;
- поддержка частных лиц / клиентов / сотрудников / менеджеров / групп в процессе принятия решений, независимо от их физического местоположения или времени;

- использование данных, баз знаний, документов и моделей, которые имеют возможность обратиться к огромному разнообразию больших групп пользователей и др.

Основными отличиями веб-версии систем поддержки принятия решений от настольных аналогов является в первую очередь доступность глобальной аудитории. При размещении на удаленном сервере доступность к ресурсам ограничивается лишь фантазией разработчиков и кошельком владельца, поскольку вычислительные мощности, расположенные в «облаках» приведут к определенным затратам.

Другим немаловажным признаком является простота использования. Такие системы направлены на снижение нагрузки на ЛПР и не требуют дополнительного обучения работы с системой – интуитивно понятный интерфейс позволяет быстро приступить к работе.

Весомым фактором также является безопасность. Проблемы безопасности могут ограничить применение WB-DSS в чувствительных областях. В таких случаях WB-DSS требует дополнительных компонентов для предотвращения угроз безопасности и ошибок в различных точках обмена информацией.

В целом, тот факт, что WB-DSS доступны из Web, создает как возможности, так и проблемы, которые, однако, обычно не присутствуют в настольных версиях СППР.

Тем не менее наряду с обсуждениями о сравнении веб- и настольных систем поддержки принятия решений возникают споры и так называемой миграции настольных систем в веб-платформы.

Системы поддержки принятия решений, которые были предназначены для работы на рабочем столе, могут быть доступны в интернете с целью сделать их более широко доступными для распределенной аудитории. Как пример уже существующих действующих прикладных СППР в веб-версиях можно привести два случая:

- 1) Expert Choice (www.expertchoice.com);
- 2) EXSYS (www.exsys.com).

Expert Choice используется, чтобы сделать выбор между несколькими альтернативами, основанными на множестве критериев принятия решений и различных атрибутов. Например, можно использовать Expert Choice в выборе дома среди множества, основываясь на соответствующих атрибутах (например, местоположение, количество комнат, размер участка), а также в целях оценки альтернатив (например, покупка лучшего дома в пределах бюджета). Expert Choice была разработана на основе метода анализа иерархий. Этот инструмент был доступен задолго до популярности в Интернете. Сейчас же веб-версия доступна как

отдельный инструмент под названием «Expert Choice decision portal» (ECDP), разработанная только для использования через сеть Интернет.

EXSYS используется для разработки экспертных систем для оказания консультативных услуг лицам, принимающим решения. Экспертная система может быть определена как «система, которая использует человеческие знания используемые компьютером, чтобы решить проблемы обычно требующие человеческого опыта». Как и Expert Choice, EXSYS также использовалась для поддержки принятия решений до начала широкого использования в Интернете. Этот продукт стал одним из первых, осуществивших переход к веб-версии.

3.3 Применение систем поддержки принятия решений

Рассмотрим несколько примеров применения СППР для решения задачи анализа и выбора ВІ-платформы.

Цель: выбор инструмента бизнес-анализа среди современных программных продуктов рынка ВІ-платформ с использованием нескольких критериев их сравнения.

Признаки сравнения:

- отношение объема обрабатываемых системой данных к числу пользователей, одновременно работающих в системе;
- степень удовлетворенности поддержкой системы вендорами;
- уровень интеграции модулей системы внутри ВІ-платформы;
- полнота функционала по визуализации данных для наглядного отображения бизнес-информации;
- уровень интеграции ВІ-платформы с внешними приложениями, используемыми клиентами в компании;
- удобство использования продукта ВІ для решения задач.

Исходные данные представлены в таблицах 3.1, 3.2.

Таблица 3.1 – Значимость признаков

Признаки	Объем данных/ Число пользователей	Удовлетворенность клиентов поддержкой	Интегр. внутри ВІ-платформ	Визуал. данных	Интегр. с приложениями	Удобство использования продукта	Итого
Коэф. нач. признаков	30	5	20	10	15	20	100

Таблица 3.2 – Исходные данные

Признаки/ Вендоры	Объем данных/ Число пользователей	Удовлетво- ренность клиентов поддержкой	Интегр. внутри BI-платформ	Визуал. данных	Интегр. с прил-ми	Удобство использования продукта
SAP	1	5	5	5	2	3
SAS	2	3	2	4	1	4
TABLEAU	4	1	3	1	3	1
TIBCO	3	2	4	2	4	2
TARGIT	5	4	1	3	5	3

3.3.1 Решение задачи с помощью метода аналитических сетей в Super Desicions

Для решения данной задачи методом аналитических сетей используем программу SuperDecisions, специализированное программное обеспечение для моделирования аналитических сетей и расчета приоритетов.

Сеть будет состоять из трех компонентов-кластеров: «Цель» является компонентом-источником, «Альтернативы» – компонентом-стоком и содержит пять BI-технологий, из которых ЛПП предстоит сделать выбор, основываясь на признаках. Кластер «Признаки» содержит шесть признаков, на основе которых будет строиться решение данной задачи (рисунок 3.2).

Каждый из признаков свяжем с каждой из альтернатив определенным коэффициентом. Соответственно, каждая из альтернатив связана с признаками с помощью коэффициентов значимости.

После создания структуры для каждой выделенной взаимосвязи необходимо ввести попарные сравнения, определяемые ЛПП. Система SuperDecisions позволяет осуществлять ввод различными способами: графическим, вербальным, матричным, опросным и прямым.

Так как исходные данные представлены в виде количественных оценок, целесообразно перевести оценки в отношения к общей сумме для ввода последним, прямым способом ввода (рисунок 3.3).

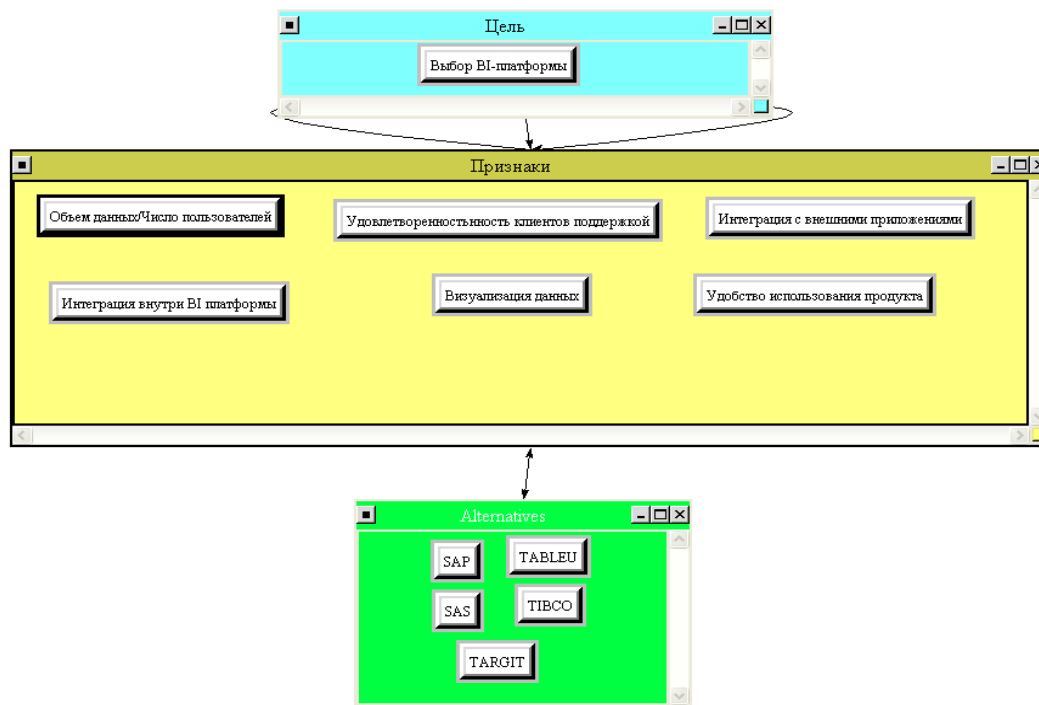


Рисунок 3.2 – Структура задачи в системе SuperDecisions

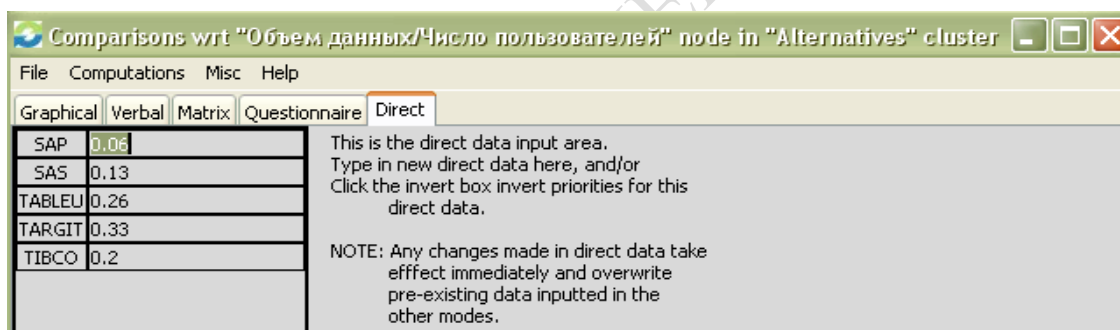


Рисунок 3.3 – Прямой способ ввода попарных сравнений

Таблица 3.3 – Исходные данные

Признаки	Объем данных/ Число пользователей	Удовлетворен- ность клиентов поддержкой	Интегр. внутри BI-платформ	Визуал. данных	Интегр. с прил-ми	Удобство использования продукта
SAP	0,06	0,33	0,33	0,33	0,13	3
SAS	0,13	0,2	0,13	0,26	0,06	4
TABLEAU	0,26	0,06	0,2	0,06	0,2	1
TIBCO	0,2	0,13	0,26	0,13	0,26	2
TARGIT	0,33	0,26	0,06	0,2	0,33	3

Таблица 3.4 – Значения коэффициентов

Объем данных/ Число пользователей	Удовлетворенность клиентов поддержкой	Интегр. внутри BI-платформ	Визуал. данных	Интегр. с прил-ми	Удобство использования продукта
0,3	0,05	0,2	0,1	0,15	0,2

Программа позволяет просматривать вектор относительной значимости различных элементов задачи.

На рисунке 3.4 представлено влияние признака «Объем данных/число пользователей» на представленные альтернативы. Наибольшее влияние признак оказывает на систему TARGIT и TABLEU. В верхней части окна представлен показатель согласованности, значение которого не должно превышать 0,1.

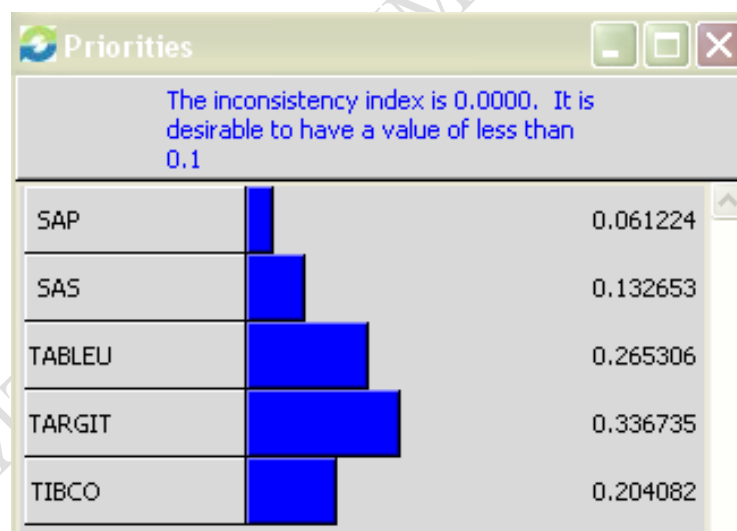


Рисунок 3.4 – Приоритеты признака «Объемы данных/число пользователей»

Все значения приоритетов доступны в отдельном окне программы (рисунок 3.5). Первый признак – «Объем данных/Число пользователей» имеет наибольший приоритет, что соответствует исходным значениям задачи.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	TABLEU	0.18265	0.089099
No Icon	SAP	0.19541	0.095321
No Icon	SAS	0.17296	0.084370
No Icon	TIBCO	0.20408	0.099552
No Icon	TARGIT	0.24490	0.119462
No Icon	Интеграция внутри BI платформы	0.19048	0.097561
No Icon	Объем данных/Число пользователей	0.33333	0.170732
No Icon	Удовлетворенность клиентов поддержкой	0.04762	0.024390
No Icon	Визуализация данных	0.09524	0.048780
No Icon	Интеграция с внешними приложениями	0.14286	0.073171
No Icon	Удобство использования продукта	0.19048	0.097561
No Icon	Выбор BI-платформы	0.00000	0.000000

Рисунок 3.5 – Все приоритеты

После ввода и проверки значений необходимо сформировать суперматрицу из полученных собственных векторов относительной значимости. Интерфейс программы позволяет построить следующие суперматрицы.

Невзвешенная суперматрица представлена на рисунке 3.6.

Super Decisions Main Window: Untitled.sdmod: Unweighted Super Matrix

Cluster Node Labels		Alternatives	Признаки						Цель
		TIBCO	Визуализация данных	Интеграция внутри BI платформ	Интеграция с внешними приложениями	Объем данных/Число пользователей	Удобство использования продукта	Удовлетворенность клиентов поддержкой	Выбор BI-платформы
Alternatives	SAP	0.000000	0.336735	0.336735	0.132653	0.061224	0.265306	0.336735	0.000000
	SAS	0.000000	0.265306	0.132653	0.061224	0.132653	0.336735	0.204082	0.000000
	TABLEU	0.000000	0.061224	0.204082	0.204082	0.265306	0.061224	0.061224	0.000000
	TARGIT	0.000000	0.204082	0.061224	0.336735	0.336735	0.204082	0.265306	0.000000
	TIBCO	0.000000	0.132653	0.265306	0.265306	0.204082	0.132653	0.132653	0.000000
Признаки	Визуализация данных	0.100000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667
	Интеграция внутри BI платформ	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667
	Интеграция с внешними приложениями	0.150000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667

Done

Рисунок 3.6 – Невзвешенная суперматрица

Взвешенная матрица, содержащая приоритеты из матриц попарных сравнений, умноженные на веса блоков суперматрицы (рисунок 3.7):

Super Decisions Main Window: Untitled.sdmod: Weighted Super Matrix									
Cluster Node Labels		Alternatives	Признаки						Цель
		TIBCO	Визуализация данных	Интеграция внутри BI платформы	Интеграция с внешними приложениями	Объем данных/Число пользователей	Удобство использования продукта	Удовлетворенность клиентов поддержкой	Выбор BI-платформы
Alternatives	SAP	0.000000	0.168367	0.336735	0.132653	0.061224	0.265306	0.336735	0.000000
	SAS	0.000000	0.132653	0.132653	0.061224	0.132653	0.336735	0.204082	0.000000
	TABLEU	0.000000	0.030612	0.204082	0.204082	0.265306	0.061224	0.061224	0.000000
	TARGET	0.000000	0.102041	0.061224	0.336735	0.336735	0.204082	0.265306	0.000000
	TIBCO	0.000000	0.066327	0.265306	0.265306	0.204082	0.132653	0.132653	0.000000
Признаки	Визуализация данных	0.100000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667
	Интеграция внутри BI платформы	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667
	Интеграция с внешними приложениями	0.150000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.166667
Done									

Рисунок 3.7 – Взвешенная суперматрица

Предельная суперматрица – взвешенная суперматрица, приведенная к стохастическому виду и возведенная в предельную степень, представлена на рисунке 3.8.

Super Decisions Main Window: Untitled.sdmod: Limit Matrix									
Cluster Node Labels		Alternatives	Признаки						Цель
		TIBCO	Визуализация данных	Интеграция внутри BI платформы	Интеграция с внешними приложениями	Объем данных/Число пользователей	Удобство использования продукта	Удовлетворенность клиентов поддержкой	Выбор BI-платформы
Alternatives	TARGET	0.119462	0.119462	0.119462	0.119462	0.119462	0.119462	0.119462	0.119462
	TIBCO	0.099552	0.099552	0.099552	0.099552	0.099552	0.099552	0.099552	0.099552
Признаки	Визуализация данных	0.048780	0.048780	0.048780	0.048780	0.048780	0.048780	0.048780	0.048780
	Интеграция внутри BI платформы	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561
	Интеграция с внешними приложениями	0.073171	0.073171	0.073171	0.073171	0.073171	0.073171	0.073171	0.073171
	Объем данных/Число пользователей	0.170732	0.170732	0.170732	0.170732	0.170732	0.170732	0.170732	0.170732
	Удобство использования продукта	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561	0.097561
	Удовлетворенность клиентов поддержкой	0.024390	0.024390	0.024390	0.024390	0.024390	0.024390	0.024390	0.024390
Done									

Рисунок 3.8 – Предельная суперматрица

В качестве результатов решения задачи получаем графическое представление значений приоритетов исследуемых альтернатив (рисунок 3.9):

- столбец Raw вычислен из суперматрицы;
- столбец Normals = нормализованный столбец Raw;
- столбец Ideals = элементы столбца Raw / максимальный элемент этого столбца.

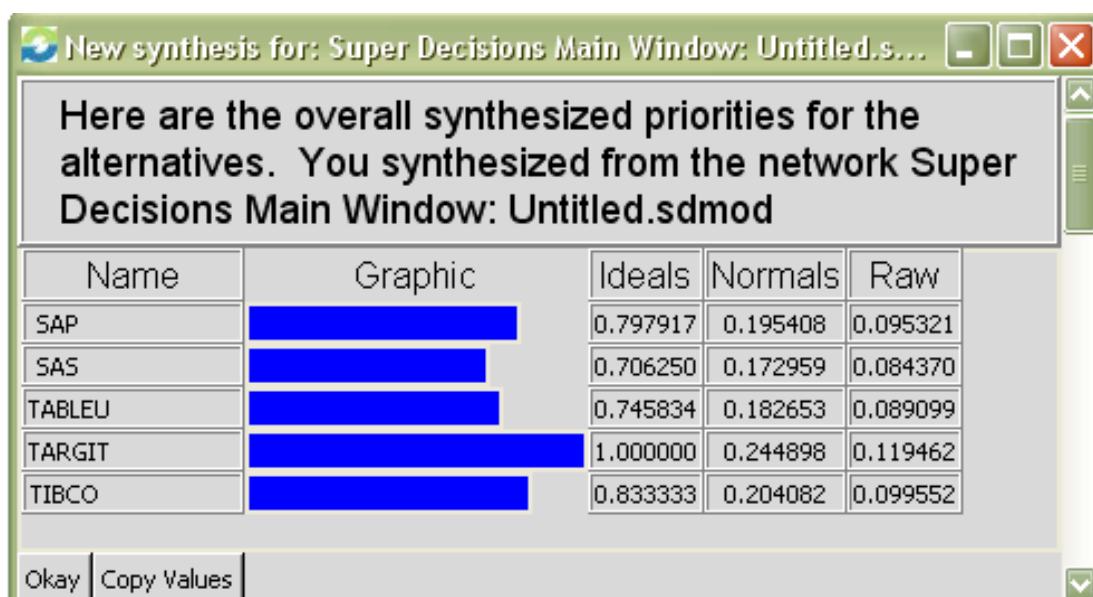


Рисунок 3.9 – Результат решения задачи

Исходя из полученных результатов, альтернативы можно расположить в порядке убывания приоритетов следующим образом: TARGIT, TIBCO, SAP, TABLEU, SAS. Наиболее предпочитаемой платформой является платформа TARGIT (TARGeted Intra-operative radiotherapy). На втором месте располагается платформа TIBCO.

3.3.2 Решение задачи с помощью приложения

«Экспертная система поддержки принятия решений»

Программа «Экспертная система поддержки принятия решений» является приложением, разворачиваемым в «облаке». Рассмотрим алгоритм решения описанной задачи средствами приложения.

После создания задачи система предлагает выбрать метод ее решения. Осуществляется выбор либо напрямую из списка доступных методов, либо с помощью «мастера выбора», ответив на несколько вопросов которого, вам будет предложен конкретный метод решения для вашей задачи (рисунок 3.10).

[Описание](#)
[Решение](#)
[Альтернативы](#)
[Ситуации](#)
[Признаки](#)
[Эксперты](#)
[Данные](#)

Коэффициенты относительной значимости признаков

Редактор данных:

Объем данных/ Число пользователей	<input type="text" value="30"/>
Удовлетворенность клиентов поддержкой	<input type="text" value="5"/>
Интеграция внутри BI платформы	<input type="text" value="20"/>
Визуализация данных	<input type="text" value="10"/>
Интеграция с внешними приложениями	<input type="text" value="15"/>
Удобство использования продукта	<input type="text" value="20"/>

Рисунок 3.12 – Ввод коэффициентов значимости

[Описание](#)
[Решение](#)
[Альтернативы](#)
[Ситуации](#)
[Признаки](#)
[Эксперты](#)
[Данные](#)

Экспертные оценки

Выберите срез для редактирования:

qrqt; Принятие решения на основе оценок эксперта

Редактор данных:

	Объем данных/ Число пользователей	Удовлетворенность клиентов поддержкой	Интеграция внутри BI платформы	Визуализация данных	Интеграция с внешними приложениями	Удобство использования продукта
SAP	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="4"/>
SAS	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="5"/>
TABLEAU	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="1"/>
TIBCO	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="2"/>
TARGET	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="3"/>

Рисунок 3.13 – Экспертные оценки

Убедившись в правильности ввода данных, необходимо перейти на вкладку «Решение» и нажать кнопку «Решить». Результат решения представлен в компактном виде; ранжированный по предпочтению список альтернатив представлен на рисунке 3.14.

Исходя из полученных результатов наиболее предпочитаемой платформой является платформа SAS. На втором месте располагается платформа TABLEAU.

Описание

Решение

Альтернативы

Ситуации

Признаки

Эксперты

Данные

Задача решена. С момента решения исходные данные не изменялись.

Решить

Результат решения задачи:

Список альтернатив в порядке предпочтения (в начале списка - наиболее предпочитаемая):

1. Альтернатива X2 (SAS)
2. Альтернатива X3 (TABLEAU)
3. Альтернатива X4 (TIBCO)
4. Альтернатива X5 (TARGIT)
5. Альтернатива X1 (SAP)

Математическая запись результатов решения задачи:

$X2 > X3 > X4 = X5 > X1$

Значения функции полезности:

Наименование	Значение
X2 SAS	0,294
X3 TABLEAU	0,235
X4 TIBCO	0,176
X5 TARGIT	0,176
X1 SAP	0,118

Рисунок 3.14 – Решение задачи

Контрольные упражнения

1 Охарактеризуйте основные математические методы, используемые в системах поддержки принятия решений, реализованных на основе информационных технологий.

2 Укажите основные отличия метода аналитических сетей от метода анализа иерархий Саати. Перечислите этапы метода MAC.

3 Для своего варианта задачи (своей предметной области) проведите анализ альтернатив в системе SuperDesicion методом анализа сетей.

4 Проведите анализ и сравнение альтернатив методом PUR в «Экспертной системе поддержки принятия решений». Сравните результаты с результатами, полученными в предыдущем задании.

Литература

- 1 Вилкас, Э. И. Оптимальность в играх и решениях: учебное пособие / Э. И. Вилкас. – М. : Наука, 1990. – 256 с.
- 2 Кравченко, Т. К. Экономические информационные системы / Т. К. Кравченко, Д. В. Исаев // Информатика / под общ. ред. : С. В. Назаров. Т. 1. М. : Национальный открытый университет «ИНТУИТ». – 2012, № 3. – С. 199–296.
- 3 Моисеенко, Е. В. «Информационные технологии в экономике» / Е. В. Моисеенко, Е. Г. Лаврушина, ред. : М. А. Касаткина – М. : Софт, 2009. – С. 120–135.
- 4 Кравченко, Т. К. Системы поддержки принятия решений / Т. К. Кравченко Т. К. // Информационные технологии для современного университета / под общ. ред.: А. Н. Тихонов, А. Д. Иванников. М.: ГНИИ ИТТ «Информика», 2011. – С. 107–118.
- 5 Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: учебное пособие / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М. : Радио и связь, 1981. – 560 с.
- 6 Ларичев, О. И. Наука и искусство принятия решений: учебное пособие / О. И. Ларичев. – М. : Наука, 1979. – 200 с.
- 7 Литвак, Б. Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа: учебное пособие / Б. Г. Литвак. – М. : Наука, 1982. – 164 с.
- 8 Теория выбора и принятия решений: учебное пособие / И. М. Макаров [и др.]. – М. : Наука, 1982. – 327 с.
- 9 Миркин, Б. Г. Проблема группового выбора: учебное пособие / Б. Г. Миркин. – М. : Наука, 1974. – 256 с.
- 10 Мулен, Э. Кооперативное принятие решений. Аксиомы и модели : учебное пособие / Э. Мулен. – М. : Мир, 1991. – 464 с.
- 11 Мушик, Э. Методы принятия технических решений: учебное пособие / Э. Мушик, П. Мюллер. – М. : Мир, 1990. – 208 с.
- 12 Подиновский, В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям : учебное пособие / В. В. Подиновский, В. М. Гаврилов. – М. : Сов. радио, 1975. – 192 с.
- 13 Саати, Т. Л. Аналитическое планирование. Организация систем : учебное пособие / Т. Л. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.
- 14 Юдин, Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений : учебное пособие / Д. Б. Юдин. – М. : Наука, 1989. – 320 с.

Производственно-практическое издание

**Жогаль Сергей Петрович,
Ратобыльская Дарья Викторовна,
Каморникова Татьяна Якимовна**

МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ЭКСПЕРТНОГО ВЫБОРА

Практическое пособие

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 28.10.2016. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,8.
Уч.-изд. л. 3,1 . Тираж 25 экз. Заказ 619.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель.

